non-ideal op-amp

[a] Non inverting op-amp
- ↳ Gain
- ↳ Rin
- ↳ Rout

[b] inverting op-amp
- ↳ Gain
- ↳ Rin
- ↳ Rout

* Frequency Responee of op-amp
- " " " inverting
- " " " non inverting
- " " " Cascaded amplifier

} خلاغ خاص

* Finite Common mode Rejection Ratio
* voltage follower Gain error due To CMRR
* offest voltage
* offest voltage adjustment
* slow Rate (SR)

non ideal op-amp

وهو النوع التاني من ال operational amplifier ففي النوع الأول قمنا بتحليل مجموعة من الدواير الخاصة ب ideal op-amp وكانت خواصه :-

[1] open loop Gain $A = \infty$

[2] $R_i = \infty$

[3] $R_{out} = 0$

كل هذه الشروط تخص ال ideal-op-amp ولكن في هذا الجزء سوف نقوم بتحليل دايرة ال op-amp من خلال non-ideal فنجد أن

- open loop Gain $\neq \infty$
  ↳ But Finite open loop Gain $A \neq \infty$
- output resistance $\neq 0$
  ↳ But Non-zero output. Resistance $R_{out} \neq 0$
- input Resistance $\neq \infty$
  ↳ But Finite input Resistance.

وهو ده الي المهندس ← هندرس ان

خواص ال non-ideal op-amp [
① $A \neq \infty$
② $R_{out} \neq 0$
③ $R_{in} \neq \infty$

#

[a] Non-inverting op-amp → (input signal $\xrightarrow{on}$ +ve port)

هنا في النوع ده مثال وتطلع

$R_o = 0$ $R_i = \infty$ ← ساوي A_v ①

$R_{out} = 0$ اعتبر ← R_{in} ②

$R_{in} = \infty$ اعتبر ← R_{out} ③

غسان يا جوهم

[1] Finite open-Loop Gain $A \neq \infty$

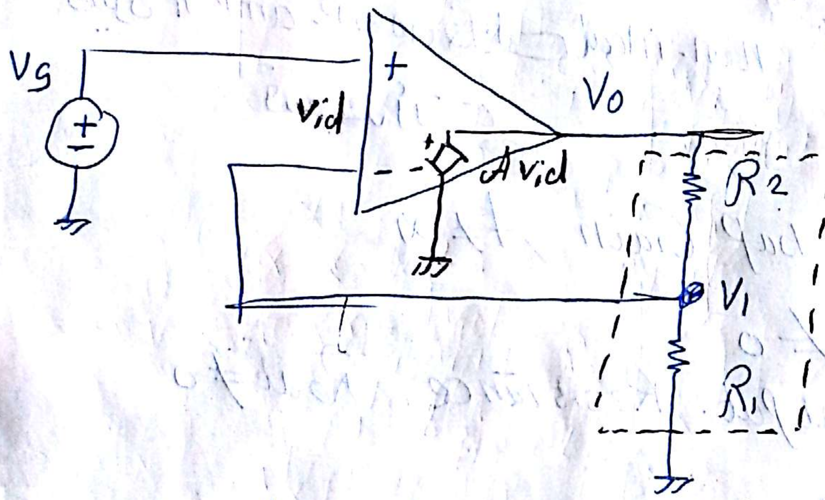
- في هذا الجزء سوف نقوم بمعرفة تأثير الـ A عند مايكون قيمتها لا تساوي (∞) زو أن لها قيمة محدوده
- سوف نقوم بحساب A_v للدايره التاليه ولكن $A \neq \infty$ كما علمنا في ideal

Reminder That

A: open loop Gain ← دي في الداتا شيت

A_v: Closed loop Gain ← بعد توصيل الـ feedback

Non inverting i/p → +



المقاومات R_2 & R_1 مسؤولين عن الـ feedback لذلك يسموا Feed back Pair

$V_o = A\, V_{id}$ ① A: open loop Gain

$V_{id} = V_s - V_1$ ②

$i = 0$

$V_1 = V_o \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ (β)

feedback factor $= \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

$V_1 = V_o\, \beta$ ③ from ①, ②, ③

$V_o = A\, [V_s - V_1]$

$V_o = A\, [V_s - \beta V_o]$

$V_o = A V_s - A\beta V_o$

$V_o\, [1 + A\beta] = A V_s$

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$A\beta$ = Called Loop Gain

⇒ approximation

تقريب باستخدام الشرط ده

$A\beta >>> 1$

شرط من شروط الـ feedback في الـ ideal op-amp

$$A_v = \frac{A}{A\beta} = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ ← مثل الـ ideal

$$\therefore A_{ideal} = \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$A = \frac{V_o}{V_S} = \frac{A}{1+A\beta}$$

and

$$V_{id} = V_S - V_1 = V_S - \beta V_o = V_S - \beta \frac{A}{1+A\beta} V_S$$

$$V_{id} = V_S \left[1 - \frac{A\beta}{1+A\beta} \right]$$

$$V_{id} = V_S \left[\frac{A\beta + 1 - A\beta}{1+A\beta} \right] = V_S \left[\frac{1}{1+A\beta} \right]$$

$$V_{id} = \frac{V_S}{1+A\beta}$$

$$V_o = A\, V_{id} = \frac{A}{1+A\beta} V_S$$

هيظهر عندي تعريفين مهمين جداً

Gain Error "GE": is defined as the difference between the ideal Gain and the acual Gain

GE = ideal Gain - actual Gain

Fractional Gain Error (FGE)

هو نسبة ال GE الى ال ideal Gain

$$FGE = \frac{\text{ideal Gain} - \text{actual Gain}}{\text{ideal Gain}}$$

- $$GE = \frac{1}{\beta} - \frac{A}{1+A\beta} = \frac{1}{\beta(1+A\beta)}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

- $$FGE = \frac{\frac{1}{\beta(1+A\beta)}}{\frac{1}{\beta}} = \frac{1}{(1+A\beta)} \approx \frac{1}{A\beta}$$

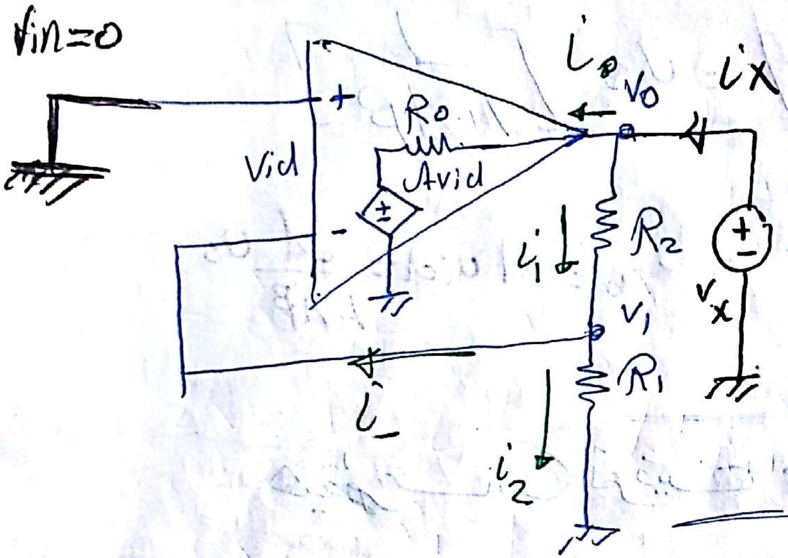
$A\beta \gg 1$

Q1 non. Zero output ResisTance.

في هذا الجزء سنتعامل analysis للدوائر ideal-opamp كنا نضع الـ $R_{out}=0$

ولكن في هذا الجزء سوف نقوم بالتعرف على كيفية إيجاد قيمة R_{out}

في حالة الـ practical op-amp ≡ non-ideal op-amp



• **Reminder That**

لإيجاد Rout

إيجاد اسمه source V_x بيطلع تيار i_x ونضعه عند output port

$\therefore R_{out} = \dfrac{V_x}{i_x}$

ولا تنسى تضع

$V_{in} = 0$

$R_{out} = \dfrac{V_x}{i_x}$

لابد إيجاد علاقة بين i_x & V_x

$i_x = i_o + i_2$ at o/p port

$i_o = \dfrac{V_x - A\,V_{id}}{R_o}$ #

~~$i_2 = V_x$~~

$V_x = i_1 R_1 + i_2 R_2$

$i_1 \approx i_2 \qquad i_- = 0$

$V_x = i_2 (R_1 + R_2)$

$\therefore i_2 = \dfrac{V_x}{R_1 + R_2}$ #

$V_x = i_1 R_1 + \dfrac{V_x}{R_1+R_2}$

~~لابد ان تكون بدلالة~~ ~~بدلالة V_x~~

$V_{id} = V_{+} - V_{-} = 0 - V_1$

$= -V_1 = -V_x \times \left(\dfrac{R_1}{R_1+R_2}\right)$ β

$V_{id} = -\beta V_x$

$\therefore i_x = i_o + i_2$

$i_x = \dfrac{V_x - A V_{id}}{R_o} + \dfrac{V_x}{R_1+R_2}$

$i_x = \dfrac{V_x}{R_o} - \dfrac{A V_{id}}{R_o} + \dfrac{V_x}{R_1+R_2}$

بدلالة V_x — لابد بدلالة V_x أو i_x — بدلالة V_x

$V_{id} = -\beta V_x$

$$i_x = \frac{V_x}{R_o} + \frac{A\beta}{R_o} V_x + \frac{V_x}{R_1+R_2}$$

$$i_x = V_x \left[\frac{1+A\beta}{R_o}\right] + \frac{V_x}{R_1+R_2} = V_x \left[\frac{1}{\frac{R_o}{1+A\beta}} + \frac{1}{R_1+R_2}\right]$$

$$\frac{V_x}{i_x} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{R_o}{1+A\beta}} + \frac{1}{R_1+R_2}}$$

$$R_{out} = \frac{R_o}{1+A\beta} \,//\, R_1+R_2 \quad \#$$

$R_1 // R_2$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

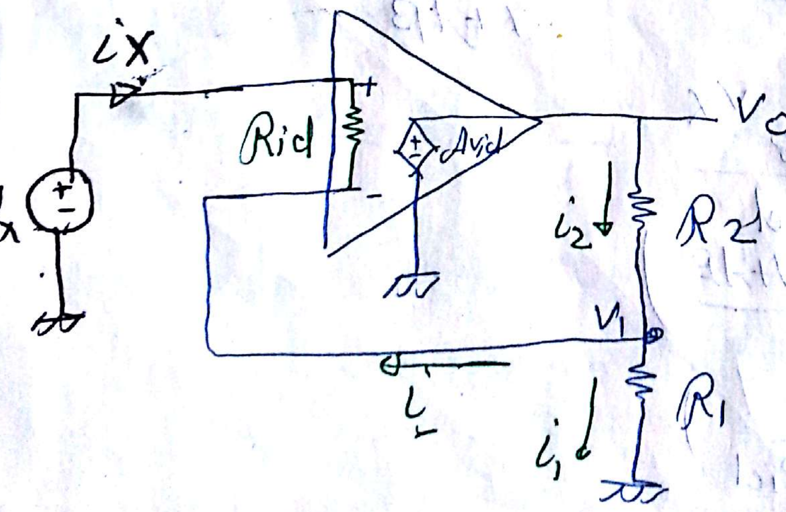
$$\boxed{R_{out} \approx \frac{R_o}{1+A\beta}} \quad \#$$

R_{out} closed loop gain o/p Resistance ← غير
R_o open " " " ← data sheet بعد التوصيل

3) Finite input Resistance

في هذا الجزء سوف نحاول إيجاد Rin للـ non ideal op-amp

$R_{in} \neq \infty$



Reminder That
لإيجاد Rin بنحط source عند i/p Port اسمه Vx وبيطلع current اسمه ix

$$\therefore R_{in} = \frac{V_x}{i_x}$$

5) $R_{in} = \frac{V_x}{i_x}$

$$i_x = \frac{V_x - V_1}{R_{id}} = \frac{V_x}{R_{id}} - \frac{V_1}{R_{id}}$$

V_x بدلالة ← $\frac{V_x}{R_{id}}$

$\frac{V_1}{R_{id}}$ ⇓ لابد اجيبه بدلالة i_x و V_x

and

$V_1 = i_1 R_1$

$i_1 = i_2 - i_-$

$i_- = 0$

$i_1 \cong i_2$

$\therefore V_1 = i_2 R_1$

$$V_1 \cong V_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \beta V_0$$

$$V_0 = A V_{id} = A(V_x - V_1)$$

$$V_0 = A V_x - A V_1$$

$$\therefore V_1 \cong \beta (A V_x - \beta A V_1)$$

$$(1 + A\beta) V_1 = A\beta V_x \Rightarrow V_1 = \frac{A\beta V_x}{1 + A\beta}$$

$$\therefore i_x = \frac{V_x}{R_{id}} - \frac{\frac{A\beta}{1+A\beta} V_x}{R_{id}}$$

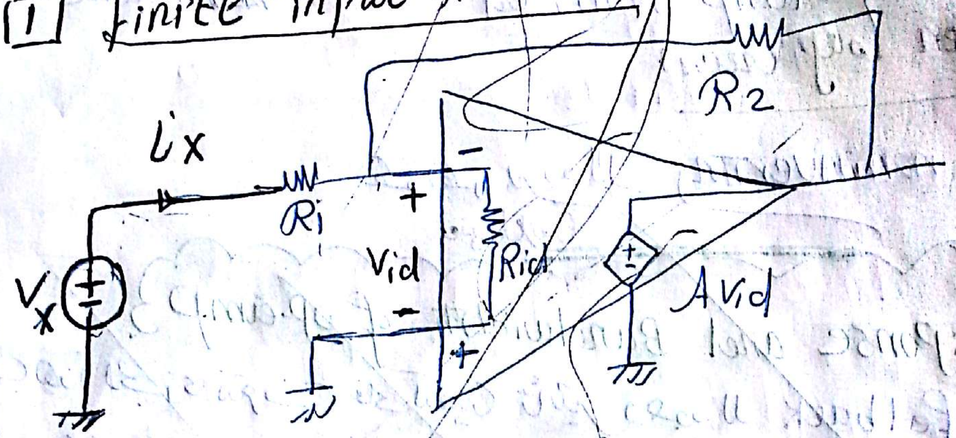
$$i_x = V_x \left(\frac{1 - A\beta / 1 + A\beta}{R_{id}} \right)$$

$$i_x = V_x \left(\frac{1}{(1 + A\beta) R_{id}} \right)$$

$$R_{in} = \frac{V_x}{i_x} = (1 + A\beta) R_{id} \neq \infty$$

[b] inverting op-amp → (input signal) Gain, R_o, R_{in} | بالتلت هما ذكبيك

[I] Finite input Resistance



لحساب R_{in}: نحط مصدر V_t على الـ i/p port ونحسب i_t، $R_{in} = \frac{V_t}{i_t}$

$$R_{in} = \frac{V_x}{i_x}$$

$$V_x = i_x R_1 + V_{id}$$

(i_x بدلالة)

الاسهل ايجاده بدلالة i_x او v_x

$$V_{id} = V_- - V_+ = V_- - 0 = V_-$$

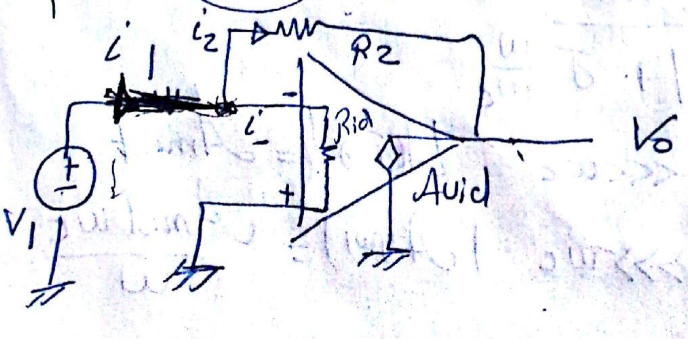
$$\therefore V_x = i_x R_1 + V_- \qquad \div i_x$$

$$R_{in} = \frac{V_x}{i_x} = R_1 + \frac{V_-}{i_x} \quad \#$$

من القانون السابق يمكن تقسيم R_{in} الى جزئين لتسهيل الحسابات وهو عباره عن

$$(R_1) + \left(\frac{V_-}{i_x}\right)$$

(1) (2)



$$i_1 = i_- + i_2$$

$$= \frac{V_1 - 0}{R_{id}} + \frac{V_1 - V_o}{R_2} \qquad (V_o = -A V_1)$$

$$i_1 = V_1 \left[\frac{1}{R_{id}} + \frac{1+A}{R_2}\right]$$

$$\frac{V_1}{i_1} = \frac{1}{\frac{1}{R_{id}} + \frac{1}{\frac{R_2}{1+A}}}$$

$$\frac{V_1}{i_1} = R_{id} \parallel \frac{R_2}{1+A}$$

$$\therefore R_{in} = R_1 + R_{id} \parallel \frac{R_2}{1+A}$$

$$R_{in} \approx R_1 + \frac{R_2}{1+A} \quad (2)$$

#

4] Non-Zero output resistance

Rout| ____ هي هي   Rout|

non-inverting op-amp non ideal   inverting op-amp [redacted] ideal

(8)

3] finite open loop Gain

$= -\frac{R_2}{R_1}\left(\frac{A}{1+A\beta}\right)$ noninverting هو هو بردو لل

نفس للعاكس

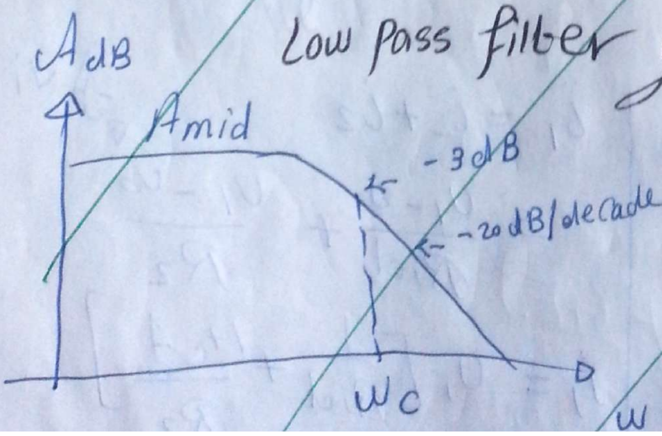
[redacted]

① Frequency Response and Bandwidth of op-amp

- في هذا الجزء نتعرف على كيفية تأثير وجود ال feedback على قيمة كل من ال Voltage Gain الخاص بال op-amp & ال Bandwidth لل op-amp (F.B)

- قبل التعرف على كيفية استجابة دواير ال op-amp المختلفة لل F.B على Av & BW لابد من معرفة الخاصية اللى تميز op-amp

جميع دواير ال op-amp تعمل كأنها Low Pass filter



أى أنها تعمل على تكبير الاشارات التى لها ترددات صغيرة ومنها dc حتى تصل الى ال Cut off frequency

(*) Finite Common mode Rejection Ratio

كما سبق وذكرنا في خصائص الـ ideal op-amp
أن الـ CMRR = 0 ولكن
ماهي الـ CMRR ؟؟

if any two i/p are the same ← كـ
are connected to the i/p of the op-amp
Then for ideal op-amp the o/p = 0
because the gain in this case will be zero
and the gain in this case called Common mode gain A_{cm}

Reminder That

- in ideal op amp
  ↳ CMRR = 0
- Common mode
  أي أن الـ i/p بيدخل على الـ 2 port الموجب والسالب مع بعض

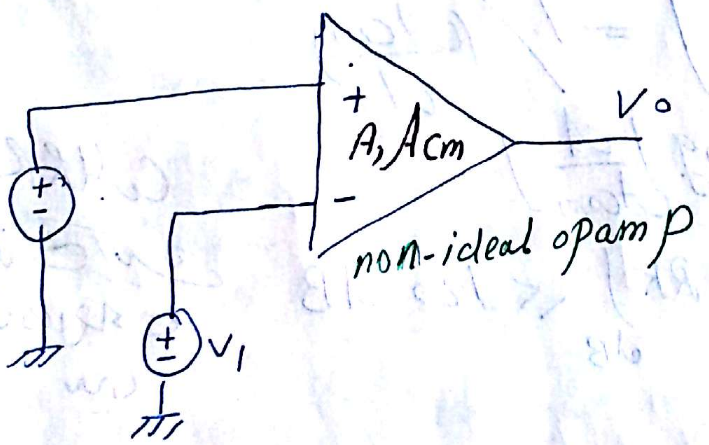
$V_o = A\,V_{id}$

$V_{id} = V_+ - V_-$

$\therefore V_o = 0 \leftarrow 0 = V_{id}$

But in non ideal opamp
↳ when we connect two i/p voltage to the i/p
the o/p of op-amp and common mode signal appear at two i/p terminal

يعني في حالة الـ nonideal opamp
$A_{common} \neq 0$



$V_{iCm} = \frac{v_1+v_2}{2}$

Then

$V_o = A\,(v_1 - v_2) + A_{cm}\left(\frac{v_1+v_2}{2}\right)$

where $(v_1 - v_2) = V_{id}$ and $\frac{v_1+v_2}{2} = V_{iCom}$

كان = 0
في الـ ideal op-amp
$\therefore V_o = A\,v_{id} + 0$

$V_o = A\,V_{id} + A_{cm}\,V_{ic}$ # ①

A or Adm = differential mode Gain
Acm : Common mode Gain

Vidc : differential mode i/p
Vic : Common mode "

$V_{ic} = \frac{V_1 + V_2}{2}$

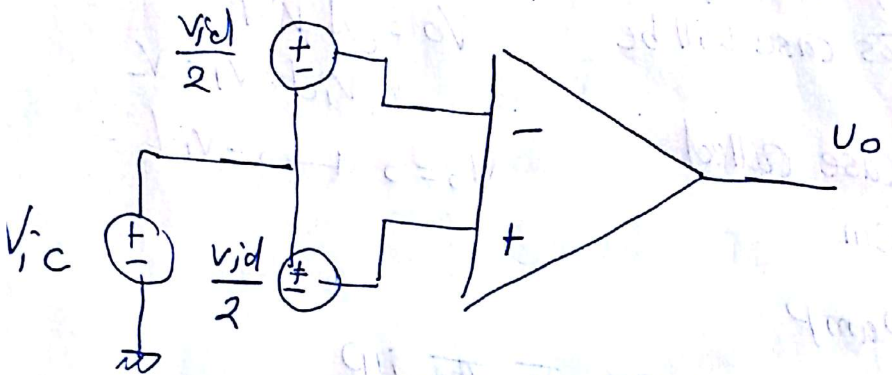
$V_{id} = V_1 - V_2$ } بالحل

$V_1 = V_{ic} + \frac{V_{id}}{2}$

$V_2 = V_{ic} - \frac{V_{id}}{2}$

The previous figure can be represent by

ممكن اعاده رسم الدايره السابقه
باستبدال V_1 و V_2 بقيمهم الجديده



$V_o = A V_{id} + A_{cm} V_{ic}$

$V_o = A\left[V_{id} + \frac{A_{cm}}{A} V_{ic}\right] = A\left[V_{id} + \frac{V_{ic}}{CMRR}\right]$

$CMRR = \left|\frac{A}{A_{cm}}\right| = 1 / \left(\frac{A_{cm}}{A}\right)$

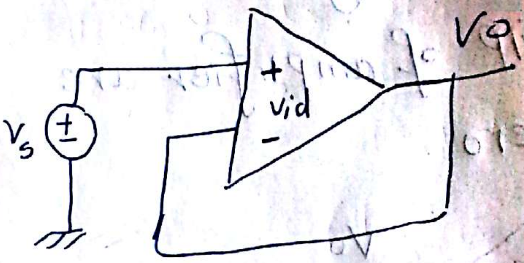
$CMRR|_{dB} = 20 \log \left|\frac{A}{A_{cm}}\right|$

$60\,dB \leq |CMRR|_{dB} \leq 120\,dB$

CMRR كل ما كانت كبيره كل ما كانت عاليه ال A_{cm} قليل

⊛ Voltage Follower Gain error due To CMRR

عايزين ال A_v لل Voltage Follower يساوي 1 ولكن نتيجة CMRR



$$v_{id} = v_+ - v_- = V_s - V_o$$

$$V_{ic} = \frac{v_s + v_o}{2}$$

$$v_o = A\left[v_{id} + \frac{V_{ic}}{CMRR}\right] \#$$

$$v_o = A\left[(v_s - v_o) + \frac{v_s + v_o}{2\,CMRR}\right]$$

$$A_v = \frac{v_o}{V_s}$$

$$A_v = \frac{A\left[(V_s - v_o) + \frac{v_s + v_o}{2\,CMRR}\right]}{V_s}$$

$$A_v = \frac{A\left[1 + \frac{1}{2CMRR}\right]}{\left[1 + A\left[1 - \frac{1}{2CMRR}\right]\right]}$$

$$GE = \text{Gain error} = \text{ideal } A_v - \text{actual } A_v$$

$$= 1 - \frac{v_o}{V_s}$$

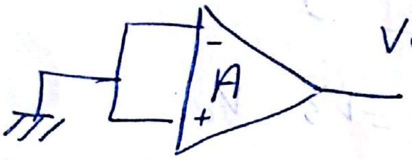
$$= 1 - \frac{A\left[1 + \frac{1}{2CMRR}\right]}{1 + A\left[1 - \frac{1}{2CMRR}\right]}$$

$$GE \cong \frac{1}{A} - \frac{1}{CMRR}$$

offest voltage.

عندما يكون الدخل الـ amplifier = 0
المفروض الخرج = 0 ← ولكن الى بيحصل

when The i/p of amplifier are both Zero



then The o/p should be Zero, but The o/p will be rest at some dc voltage level

يعني $V_{id} = 0 \Longrightarrow V_o$ = dc value

وده تفسيره عامل واحده

يعني noise ← dc قيمتها صغيره دخلت على i/p واتكبرت طلعت dc value كبيره شويه

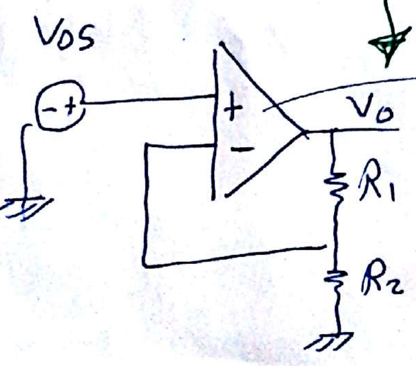
↳ A small dc voltage seems To have been applied To the i/p of The amplifier, which is amplified by Gain. ~~and~~

• equivalent dc i/p offest voltage

$$V_{os} = \frac{V_o}{A} \qquad V_{os} < 0.25\ mV$$

$$V_o = A\left[v_{id} + \frac{v_{ic}}{CMRR}\right] + V_{os}$$

علشان تفهم علق على المثال ده



→ ideal op-amp with Zero offest voltage

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{os}.$$

(*) offest voltage adjustement

نلاحظ لحل هذه المشكلة نلاحظ أن في

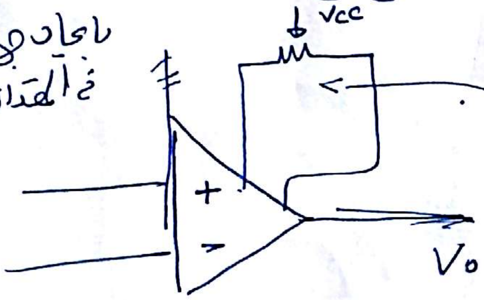
1 و 5 أطراف زيادة في op-amp

نقوم بتوصيل مقاومة متغيرة بين هذين الطرفين

والطرف الثالث للمقاومة المتغيرة يوصل على Vcc

وتغير في المقاومة حتى يتلاشى Vos

بايجاد جهد مساوي في المقدار ومضاد في الاتجاه بـ Vos



poTen Tiometer

نغير فيها لحد لما 0 = Vo

لان 0 = Vi

حل المشكلة دي إزاي ؟

لازم لما 0 = Vin

0 = Vo

في الجزء السابق تعرفنا على مصدر من مصادر الـ error وهو

Vin = 0 ⟶ Vo ≠ 0

1 و 5 أطراف في الـ op-amp تسمى offest null

(*) slow rate SR

المقصود من الـ slow rate هو أنه

اذا تم ادخال جهد معين على الـ op-amp فإنه يأخذ وقت معين حتى يتم الحصول عليه من على الخرج للـ op-amp وهذا الوقت يعرف بـ slow rate

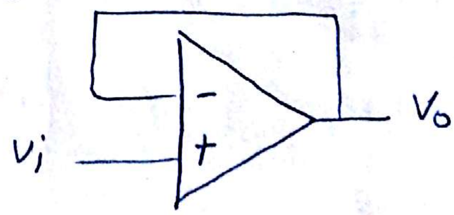
$$SR = \frac{dV_o}{dt}\Big|_{max}$$

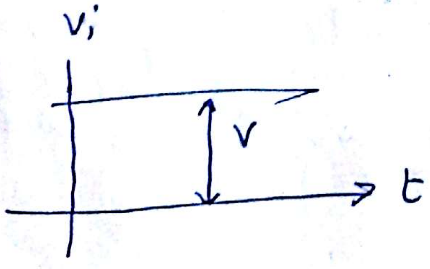
ووحدته V/μs

volt / μ second

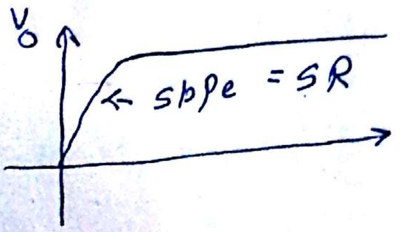
مثال على ذلك

voltage follower

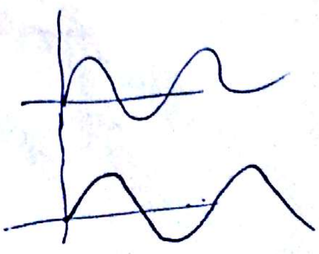




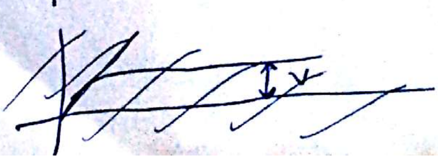
اذا تم توصيل هذه الاشارة على العمل



الخرج هيكون كده



التردد هيتغير في الـ O/P



Scanned by CamScanner